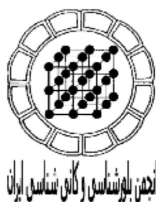
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ اول، بهار ۹۹، از صفحهٔ ۱۹۹ تا ۲۱۶



بررسی تغییرات کانی‌شناسی و ریزساختی گرانیت‌های چاه‌زرد (شرق‌جندق) طی میلونیت‌زایی براساس روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)

آسیه فضیلت[1]، محمود صادقیان[*2]

دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۱/۳۱، نسخه نهایی: ۹۸/۵/۷)

چکیده: توده گرانیتی چاه‌زرد با سن ۳٫۲± ۵۳۵٫۴ میلیون‌سال (تعیین شده به روش U-Pb بر روی زیرکن) به درون مجموعه دگرگونی جندق - عروسان نفوذ کرده و طی رخدادهای بعدی به‌شدت میلونیتی‌شده‌است. این توده گرانیتی، برای نخستین بار براساس روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) بررسی شده است. مقدار میانگین پذیرفتاری مغناطیسی (Km) بیوتیت‌گرانیت‌ها (سازنده اصلی پیکره توده گرانیتی چاه زرد) μSI ۱۱۲ است. بیوتیت مهمترین حامل مغناطیسی در بیوتیت‌گرانیت‌هاست. طی میلونیت‌زایی، حجم قابل‌توجهی از بیوتیت‌ها به مسکوویت تحوّل پیدا کرده و در نتیجه، مقادیر Km سنگ‌های دربرگیرنده آنها به شدت کاهش یافته است. خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی این توده گرانیتی به ترتیب، بیشتر دارای میل و شیب بسیار کمی هستند، شواهد صحرایی نیز این امر را تأیید می‌کند. خطواره‌های مغناطیسی، بیشتر به‌سمت شمال‌غرب آرایش یافته‌اند. از آن‌جا که شدت میلونیتی‌شدن بسیار زیاد است، ریزساخت‌های دستخوش تنش‌های زمین‌ساختی، بر ریزساخت‌های ماگمایی غلبه پیدا کرده و آن‌ها را به طور کامل مخدوش کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *گرانیت؛ ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی؛* میلونیت‌زایی؛ *چاه‌زرد؛ جندق.*

مقدمه

روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) از روش‌های نوین پژوهشی است که بر اساس اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی یا تحلیل فابریک‌های مغناطیسی نمونه‌های سنگی استوار است [۲،۱]. این روش در چند دهه اخیر در شاخه‌های مختلف علوم‌زمین، به‌ویژه سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی-ساختاری کاربرد بسیاری داشته است [۳-۱۳]. پژوهش‌های انجام شده در ایران در زمینه AMS تاکنون بیشتر پیرامون فابریک‌های سنگ‌های آذرین دگرشکل‌نشده یا کمتر دگرشکل‌شده متمرکز بوده است که گزیده‌ای از آنها در مراجع [۱۴-۳۳] همچنین [۳۷] فهرست شده‌اند. بر روی سنگ‌های متاپلیتی وآمفیبولیتی وابسته به مجموعه‌ی دگرگونی شتر کوه با استفاده از روش (AMS) بررسی‌های جامعی صورت گرفته است که علاقمندان می‌توانند جهت بررسی آنها به مراجع [۳۰-۳۳] رجوع کنند. در این پژوهش، روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) در مورد سنگ‌های آذرین به شدت دگرشکل‌شده و بررسی اثر دگرشکلی بر ریزساخت‌های ماگمایی و تغییر و تحولات کانی‌شناسی صورت‌گرفته طی دگرشکلی به کار رفته است.

روش بررسی ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)، روشی بسیار آسان، دقیق، سریع و کم هزینه است. مزیت‌های این روش نسبت به دیگر روش‌های پتروفابریکی شفافیّت بسیار بالا و سرعت عمل بالای آن است، همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است و از همه مهمتر آن‌که، در این روش می‌توان از کل رخنمون توده‌های سنگی به صورت منظم و اصولی نمونه‌برداری کرد [۲]. در این روش با

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۳۳۲۳۹۶۰۰۷، نمابر: ۰۲۳۳۲۳۹۶۰۰۷، پست الکترونیکی: sadeghian@shahroodut.ac.ir

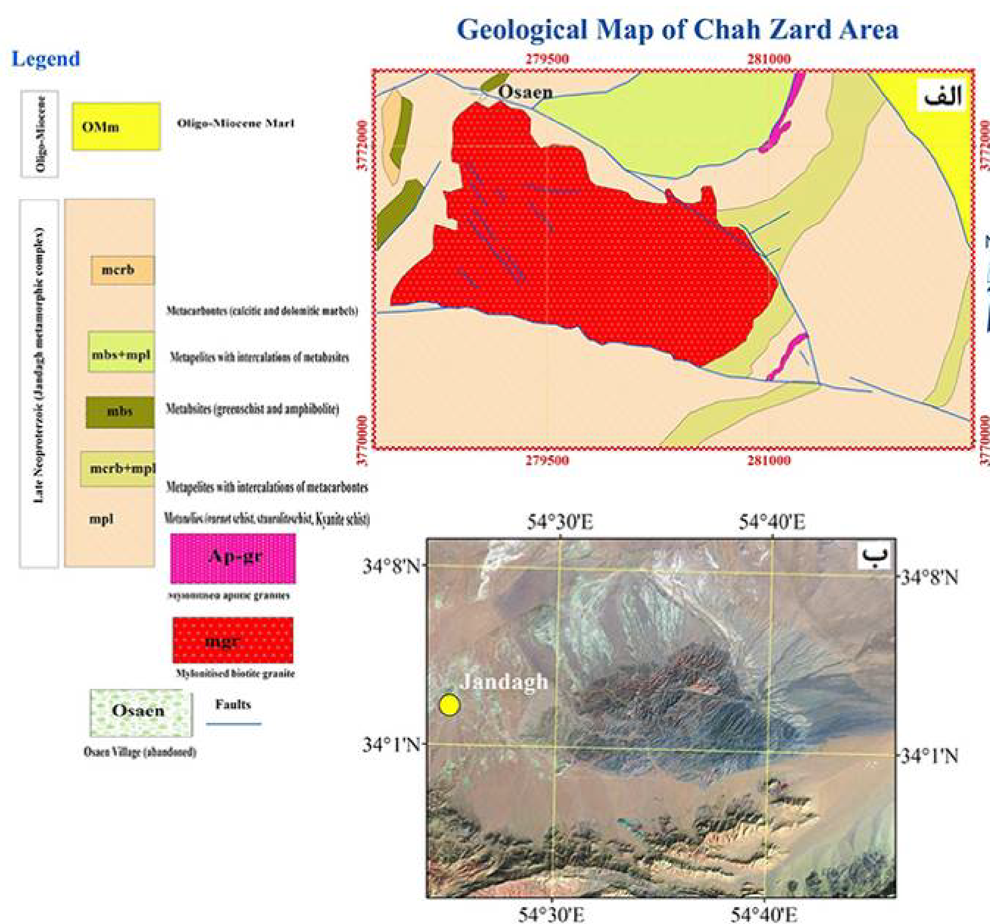
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

اندازه‌گیری پارامترهای Kmax، Kint و Kmin می‌توان خطوارگی و برگوارگی مغناطیسی، مقدار ناهمسانگردی مغناطیسی، پارامتر شکل (shape parameter) و دیگر پارامترهای مغناطیسی را محاسبه کرد و در تفسیرهای زمین‌شناسی از آنها استفاده کرد. Kmax به عنوان خطوارگی مغناطیسی و Kmin به عنوان قطب برگوارگی شناخته می‌شود.

زمین‌شناسی عمومی و سنگ‌شناسی

در منطقه چاه‌زرد، واحدهای سنگی دگرگونی - آذرین نئو-پروتروزوئیک‌پسین، سنگ‌های رسوبی مارنی - ماسه‌سنگی الیگومیوسن، نهشته‌های مخروط افکنه‌ای پلیوسن و رسوب‌های آبراهه‌ای کواترنری رخنمون دارند [۳۴] (شکل ۱). با توجه به هدف این پژوهش، تنها به واحدهای سنگی نئوپروتروزوئیک توجه شده است. سنگ‌ها و رسوب‌های جوانتر فقط بخش کمی از مجموعه سنگ‌های قدیمی‌تر را به‌صورت ناپیوسته و ناهمشیب پوشانده‌اند. توده گرانیتی چاه زرد (با وسعت تقریبی ۴ کیلومتر مربع) درون سنگ‌های دگرگونی مجموعه جندق - عروسان نفوذ کرده و در آن جای‌گرفته است. سنگ‌های دگرگونی منطقه چاه زرد به مجموعه پی‌سنگی جندق که از جمله مناطق پی‌سنگی ایران است تعلق دارند و با توجه به تعیین سن‌هایی که به تازگی به روش U-Pb بر روی برخی از واحدهای‌سنگی این مجموعه انجام شده‌است دارای سن نئوپروتروزوئیک‌پسین هستند (حدود ۵۴۰ میلیون‌سال). توده گرانیتی چاه‌زرد دارای سن ۵۳۵/۴ ±۳/۲ میلیون سال است [۳۴-۳۶]. سنگ‌های دگرگونی منطقه چاه‌زرد شامل طیف گسترده‌ای از ترکیبات‌مختلف چون متاپلیت (میکاشیست، گارنت‌شیست، استارولیت‌شیست،کیانیت‌شیست)، متاسندستون (میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی‌دگرگون‌شده)، متاکربنات (میان‌لایه-های آهکی و دولومیتی دگرگون‌شده) و متابازیت (آمفیبولیت و گارنت‌آمفیبولیت) هستند.

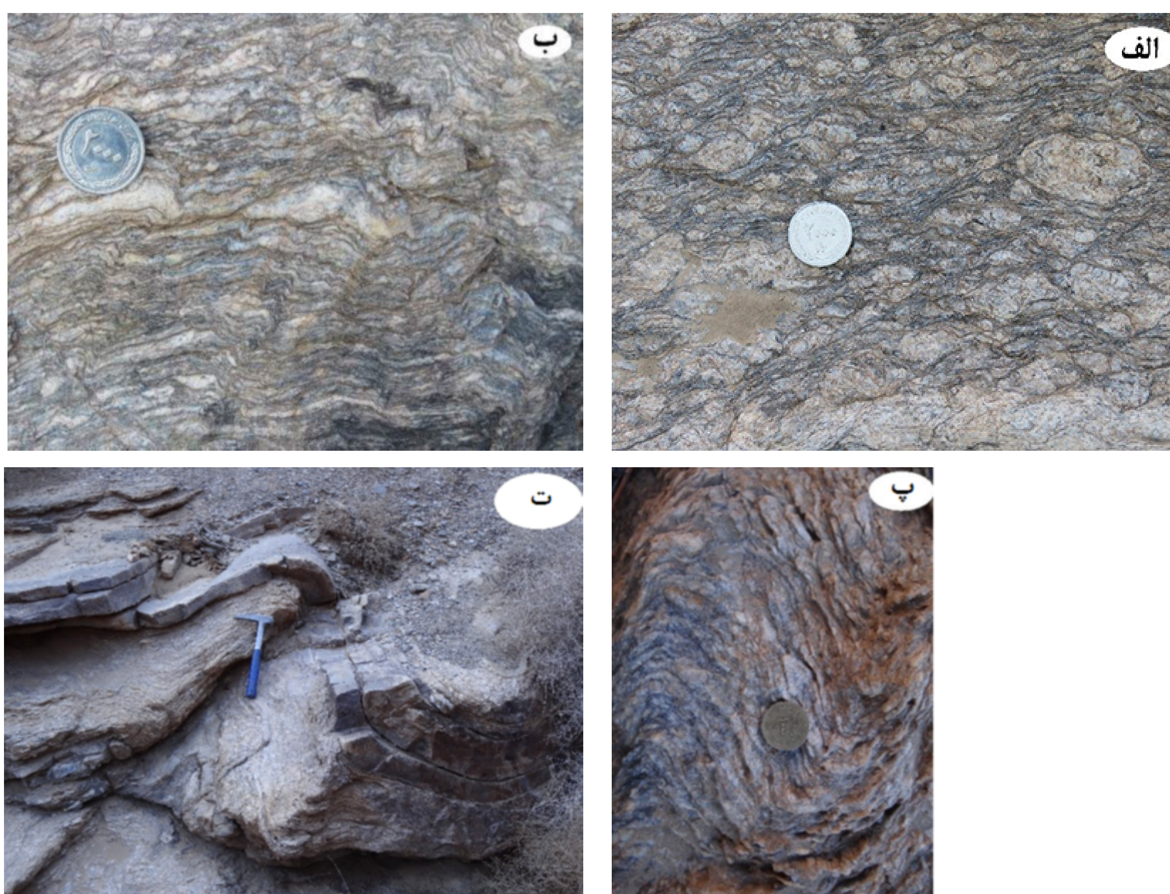


شکل ۱ الف– نقشه زمین‌شناسی توده گرانیتی چاه زرد و سنگ‌های میزبان آن. این نقشه بر اساس تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، مشاهدات صحرایی و سنگ‌نگاری تهیه و در محیط Arc map رسم شده است. تعیین شده است. ب - تصویر ماهواره‌ای منطقه چاه زرد (بطور عام: منطقه شرق - جنوب‌شرق جندق). محل شهر جندق بر روی این تصویر مشخص شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

بیوتیت‌گرانیت‌های سازنده توده گرانیتی چاه‌زرد بیشتر به رنگ روشن تا خاکستری دیده می‌شوند و بیوتیت، ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز در آن‌ها یافت می‌شود. زیرکن، اسفن و کانی‌های کدر (به احتمال زیاد ایلمنیت) از کانی‌های فرعی آن‌ها محسوب می‌شوند. کلریت، مسکوویت، اپیدوت، آلانیت و اسفن ثانویه و همچنین اکسیدهای آهن چون هماتیت و لیمونیت از کانی‌های ثانوی این سنگ‌ها به‌حساب می‌آیند. از آنجا که این گرانیت‌ها پس از استقرار دچار میلونیت‌زایی شده‌اند، ریزساخت‌های میلونیتی از جمله ریزساخت پورفیروکلاستی بسیار زیبایی را نشان می‌دهند و دارای پورفیروکلاست‌های پتاسیم فلدسپار (ارتوز) و پلاژیوکلازهستند. در بیوتیت‌گرانیت‌های دانه‌درشت میلونیتی‌شده نیز، چین‌خوردگی بزرگ‌مقیاس تا ریزمقیاس، ریزدانه‌شدن (خردشدن و تشکیل دانه‌های ریزتر) دانه‌های کوارتز و فلدسپار و سطوح برشی C، S و Ć آشکارا در مقیاس صحرایی و میکروسکپی قابل مشاهده است [۳۴-۳۸] (شکل‌های۲ تا ۴). شکل ۴ پاره چینی از تصاویر بیانگر ویژگی‌های ریزساختی بارز سنگ‌های بیوتیت گرانیتی به شدت دگرشکل شده وابسته به توده‌ی گرانیتی چاه زرد را نشان می‌دهد.

در اثر میلونیتی‌شدن توده گرانیتی چاه‌زرد به یک مجموعه بسیار متورق از ورقه‌هایی با مقیاس میلی‌متری و حتی کمتر از میلیمتر (میکروسکپی) (شامل ارتوز، پلاژیوکلاز و بیوتیت‌های به‌شدت دگرشکل‌شده) تبدیل شده است. در مقیاس میکروسکوپی، تبدیل ارتوز به میکروکلین دیده می‌شود که بیانگر تنش وارد شده بر ارتوز و تحوّل سیستم بلوری آن از منوکلینیک به تری‌کلینیک است. برخی پژوهشگران [۳۹، ۴۰] معتقدند که این تغییر و تحوّل ناشی از تنزّل سیستم بلوری ارتوز از رده مونوکلینیک (با درجه تقارن بیشتر) به میکروکلین از رده تری‌کلینیک (با درجه تقارن کمتر) است.



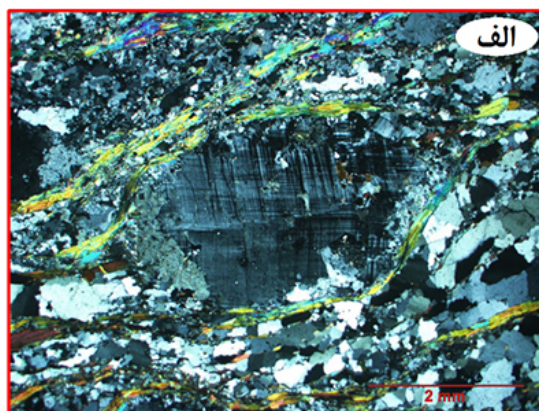
شکل ۲ تصاویری از نمای نزدیک گرانیت‌های میلونیتی و به‌شدت چین‌خورده چاه‌زرد: الف – پورفیروکلاست‌های ارتوز همراه با سطوح برشی S و C. ب و پ - چین‌خوردگی گرانیت‌های میلونیتی‌شده چاه‌زرد در مقیاس سانتیمتری تا میلیمتری و ت - چین‌خوردگی گرانیت‌ها و آپلیت‌های روشن میلونیتی چین‌خورده در منطقه جنوب‌غرب اوسائن. این تصاویر نشانگر دگرشکلی پلاستیک بسیار شدید تحمیل شده بر این سنگ‌هاست.

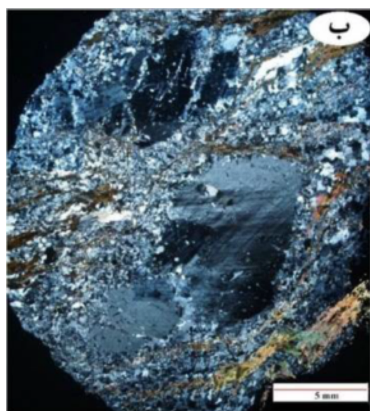
همچنین تبدیل بیوتیت به مسکوویت و ارتوز به مسکوویت آشکارا در مقیاس میکروسکوپی دیده می‌شود که نشانگر حضور سیّال‌های سرشار از آب طی میلونیت‌زایی است (شکل ۳ الف). طی فرایند میلونیتی‌شدن و در حضور این سیال‌ها، بیوتیت آهن خود را از دست داده و با کسب مقادیری آلومینیوم به مسکوویت (یا سریسیت) تبدیل شده است. از سوی دیگر، ارتوز یا میکروکلین نیز با دریافت مقداری آب به مسکوویت (یا سریسیت) تبدیل شده‌اند. در اثر تبدیل بیوتیت به مسکوویت و فراوانی قابل‌توجه مسکوویت‌های ثانویه یا نوظهور، رنگ سنگ-های بیوتیت گرانیتی دگرشکل‌شده از حد معمول بیوتیت-گرانیت‌ها روشن‌تر است. یکی از کانی‌های فرعی بارز سرشار از عناصر خاکی‌نادر و وابسته به گروه اپیدوت موجود در گرانیت-های چاه زرد، آلانیت با فرمول شیمیایی $Ca, Ce, (La)(Al_2Si_3O_{12})(Al, Fe^{+3}, Fe^{+2})(Y, Th, Mn)$ است. حضور این کانی همراه با اسفن و زوئیزیت نشان می‌دهد که مجموعه‌ای از فرایندهای نقل و انتقال عناصر در تشکیل این کانی‌ها نقش داشته‌اند. عناصر لازم برای تشکیل این کانی‌ها از تخریب هم‌زمان بیوتیت و پلاژیوکلاز و مشارکت فاز سیال در جابجایی و انتقال آن‌ها فراهم‌شده است [۳۴]. ترو و همکاران [۴۰] میلونیت‌ها را در سه گروه درجه پایین، (با گستره دمایی تقریبی ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد)، درجه‌متوسط (با گستره دمایی تقریبی ۵۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد) و درجه‌بالا (با دمای‌بیش از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد) تقسیم کرده‌اند.

ویژگی اصلی تفکیک کننده میلونیت‌های درجه پایین از میلونیت‌های درجه متوسط، اندازه بلورهای کوارتز باز تبلور یافته رشد کرده است. در میلونیت‌های درجه پایین اندازه کوارتز، کمتر از ۵۰ میکرومتر است، در حالی‌که، در میلونیت‌های درجه متوسط اندازه دانه‌های کوارتز، بیش از این مقدار است. اگرچه فلدسپار بیشتر از طریق خردشدگی دگرشکل شده است، با این وجود، پیامدهای دگرشکلی کریستال - پلاستیک توسط خاموشی موجی، تداخل و پیوستگی در دانه‌های ریز جدید، قابل استنباط است.

گستره دمایی تشکیل میلونیت‌های درجه متوسط حدود ۵۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد است. در میلونیت‌های درجه متوسط، در اصل از طریق فرایند دانه‌ریز شدن همراه با چرخش دانه‌های جدید ایجاد شده، کوارتز به طور کامل دستخوش باز تبلور شده و همچنین دانه‌های‌ریز کوارتز تازه‌تشکیل تا حدی رشد می‌کنند که دانه‌های بدون واتنش، فابریک‌بلورین چندوجهی پیدا کرده و اندازه میانگین دانه‌ها از ۵۰ میکرومتر فراتر می‌رود.

میلونیت‌های درجه بالا، در دماهای بیش از ۶۵۰ درجه سانتیگراد تشکیل می‌شوند. به احتمال زیاد، به علت این که بقای (محفوظ ماندن) این نوع میلونیت‌ها مسأله‌ساز است، آنها نسبتاً کمیاب هستند. بیشتر میلونیت‌های تشکیل شده در این شرایط، تمایل به باز تبلور کامل دارند، این امر باعث تخریب ساختار میلونیتی شده و یا آن را استتار می‌کنند. در صورتی که به هر طریقی از رشد بلور در سنگ جلوگیری شود (مثلاً به واسطه داشتن ماهیت چند بلوری آن)، ویژگی‌های میلونیتی حفظ می‌گردند. ایجاد کوارتزهای نواری شکل یکی از ویژگی-های بارز میلونیت‌های درجه بالا است.

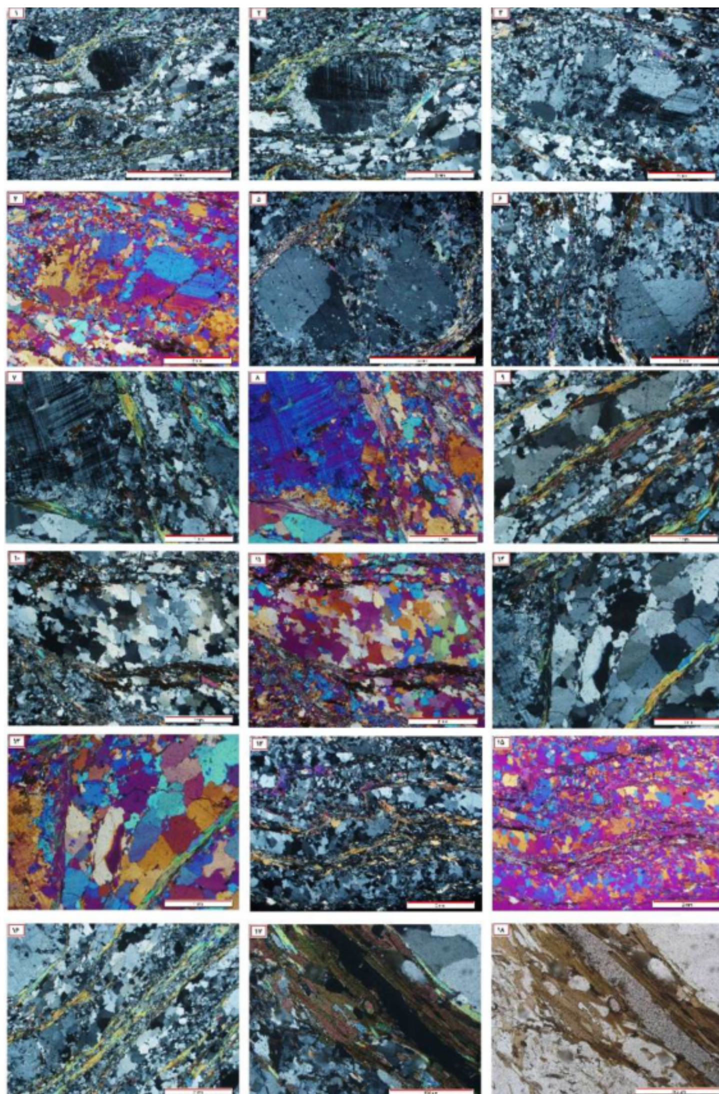




شکل ۳ الف- تبدیل‌شدگی بیوتیت به مسکوویت و تبدیل ارتوز به میکروکلین (XPL). ب- پورفیروکلاست‌های ارتوز در زمینه‌ای بسیار دانه‌ریز (subgraining) شامل دانه‌های خرد شده کوارتز، فلدسپار پتاسیم و بیوتیت. بخشی از این پورفیروکلاست‌های ارتوز به میکروکلین نیز تبدیل شده‌اند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

بر اساس مبانی بررسی میلونیت‌ها، توده گرانیتوئیدی چاه زرد و همچنین سنگ‌های میزبان آن شواهد بارزی از میلونیت-های درجه‌پایین تا درجه‌متوسط نشان می‌دهند. میلونیت‌های درجه بالا در منطقه مورد بررسی به ندرت دیده شده‌اند. در شکل‌های ۲ تا ۴ ویژگی‌های میکروسکپی بارز گرانیت‌های میلونیتی‌شده توده گرانیتوئیدی چاه زرد نشان داده شده است.



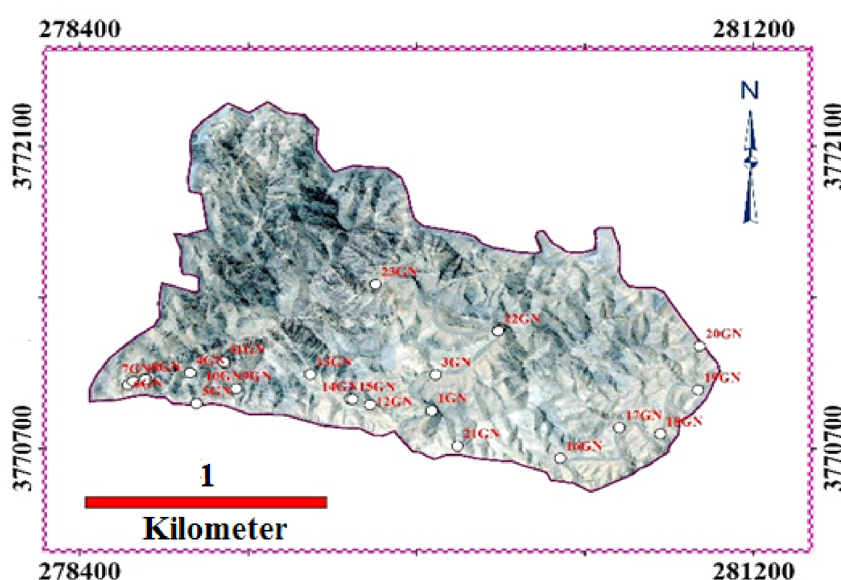
شکل ۴ پاره چین یا تابلویی از ویژگی‌های ریزساختاری بارز سنگ‌های بیوتیت‌گرانیتی به شدت دگرشکل‌شده وابسته به توده گرانیتی‌میلونیتی‌شده چاه زرد. تصاویر ۱ تا ۸ نشانگر بافت پورفیروکلاستی و دانه‌ریز شدن ارتوزکلاز (به صورت پورفیروکلاست) و همچنین دانه‌ریز شدن سایر کانیها از جمله کوارتز، پلاژیوکلاز و بیوتیت هستند. همچنین تبدیل‌شدگی ارتوز به میکروکلین (ناشی از تنش‌های وارد شده و تغییر و تحوّل شبکه ساختاری آنها) در این سنگ‌ها پدیده‌ای متداول و فراگیر است. تصویر ۹ تبدیل‌شدگی بیوتیت به مسکوویت، دانه‌ریز شدن کوارتز و دانه‌های کوارتز با خاموشی موجی و مرزهای دندانه‌دار را نشان می‌دهد. تصاویر ۱۰ و ۱۱ نشان‌دهنده فابریک آرایش‌یافتگی مورّب در کوارتزهای دانه‌ریز شده هستند. تصاویر ۱۲ و ۱۳ دانه‌ریز شدن کوارتز و مهاجرت مرزدانه‌ها را نشان می‌دهند. تصاویر ۱۴ و ۱۵ چین‌خوردگی در مقیاس میکروسکپی و دانه‌ریز شدن در نوارهای کوارتزی را نشان می‌دهند. تصویر ۱۶پهنه‌های‌بُرشی با مقیاس میکروسکپی و تبدیل‌شدگی بیوتیت به مسکوویت را نشان می‌دهد. تصاویر۱۷ و ۱۸ تبدیل‌شدگی بیوتیت به مسکوویت و حضور زیرکن به صورت ادخال (میانبار) در بیوتیت ((دانه منشوری‌شکل کوچک با تنوع رنگی رنگین‌کمانی در نور پلاریزه متقاطع و برجستگی بالا در نور قطبیده عادی (در بخش میانی این تصاویر)) را نشان می‌دهند. توجه شود که تصاویر دارای رنگ‌های (با تُن رنگی) آبی، زرد و نارنجی (چون تصاویر ۴، ۸، ۱۱، ۱۳ و ۱۵) به کمک تیغه‌کمکی ژیپس گرفته شده‌اند تا برخی از ویژگی‌های آنها به ویژه دانه‌ریز شدن، چرخش و لغزش دانه‌های ریز ایجاد شده، بهتر نشان داده شوند. جز تصویر ۱۸، سایر تصاویر در نور پلاریزه متقاطع گرفته شده‌اند. به علت کوچک‌بودن تصاویر، گفتنی است که شماره‌ی تصاویر، از بالا سمت چپ به سوی سمت راست و از بالا به پایین به صورت پیوسته است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

توده‌های گرانیتی دیگری چون توده گرانیتی چاه قنبر در جنوب‌شرق روستای مصر و توده گرانیتی آیراکان به درون مجموعه دگرگونی جندق نفوذ کرده‌اند که دارای ویژگی‌های سنگ‌شناسی بسیار مشابهی هستند. تحولات سنگ‌شناسی این توده‌های گرانیتی و همچنین سن آنها مشابه است [۳۴- ۳۶]. با توجه به شواهد صحرایی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به نظر می-رسد که مجموعه دگرگونی جندق و به ویژه مجموعه سنگ‌های دگرگونی منطقه چاه‌زرد، بُرش‌های زمین ساختی (Slices) هستند که به صورت آمیزه‌های زمین‌ساختی کنار هم قرار دارند و مجموعه سنگ‌هایی با درجه‌های دگرگونی بسیار ضعیف تا بسیار بالا با مرزهای گسلی و به طور نامنظم، کنار هم قرار گرفته‌اند. توده گرانیتی چاه‌زرد نیز در یک بُرش زمین ساختی با درجه دگرگونی متوسط تا بالا تزریق شده و سپس در اثر تنش‌های زمین ساختی بعدی به شدت دگرشکل شده است.

روش کار

ابتدا بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی موجود (نقشه‌های ۲۵۰۰۰۰ : ۱ خور و ۱۰۰۰۰۰ : ۱ مصر)، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی، تنوع سنگ‌شناسی منطقه مشخص شد و با استفاده از نرم افزار Arc GIS 9.3 الگوی نمونه‌برداری اولیه طراحی گردید. در این الگو در هر یک کیلومتر مربع، حدود ۵ تا ۶ ایستگاه مغزه‌گیری انتخاب شد. مغزه‌های سنگی در روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)، به طول ۱۰۰ تا ۱۵۰ و قطر ۲۵ میلیمتر هستند که به وسیله یک موتور مغزه‌گیر بنزینی قابل‌حمل برداشت شده و سپس به قطعات کوچکتر و در حد استاندارد به طول ۲۲ میلیمتر برش داده شدند. برای دست‌یابی به توضیحات بیشتر درباره روش نمونه‌برداری و رعایت نکات مهم در حین برداشت مغزه‌ها به مراجعی از قبیل [۱۴-۲۳] مراجعه کنید. در مراجع ذکر شده و مراجع زیاد دیگری از این قبیل، می‌توان به شناخت پارامترهای مغناطیسی و نحوه تحلیل آنها دسترسی پیدا کرد، از این رو، از بیان مبانی روش AMS صرف‌نظر کرده و به‌تحلیل نتایج بدست آمده می‌پردازیم. نمونه‌برداری (به‌صورت مغزه‌گیری و در صورت لزوم برداشت نمونه‌های سنگی‌دستی) طی چند مورد بازدید صحرایی از ۲۳ ایستگاه انجام شد و تعداد ۱۱۴ مغزه تهیه گردید (شکل ۵). پس از برش مغزه‌ها، ۶۰۸ قطعه‌مغزه به طول ۲۲ میلی‌متر (اندازه استاندارد قابل استفاده برای کار با دستگاه مغناطیس‌سنج یا دستگاه سنجش پذیرفتاری‌مغناطیسی)، تهیه شد. پارامترهای مغناطیسی این نمونه‌ها توسط دستگاه اندازه-گیری پذیرفتاری مغناطیسی از نوع کاپابریج مدل MFK1-FA موجود در آزمایشگاه ژئومغناطیس دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری گردید. در شکل ۶، عمده وسایل مورد نیاز برای مغزه‌گیری، نمونه‌برداری صحرایی و عدد مغزه تهیه و نامگذاری شده، نشان داده شده‌اند.



شکل ۵ تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث نشان‌دهنده توده موقعیت جغرافیایی گرانیتی چاه‌زرد (واقع در شرق‌جندق) و پراکنش ایستگاه‌های نمونه-برداری جهت مغزه‌گیری.

[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199] [DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]



شکل۶ الف) مجموعه وسایل مورد نیاز برای نمونه برداری (به روش مغزه‌گیری)، و ب) تصویری از چند عدد مغزه گرفته‌شده از گرانیت‌های به‌شدت دگرشکل‌شده چاه‌زرد (سمت چپ).

بحث و بررسی

به منظور تفسیر فابریک‌های مغناطیسی توده گرانیتی چاه زرد، تعداد ۱۱۴مغزه جهت‌دار برداشت شد (از بیوتیت‌گرانیت‌ها، ۱۰۱ مغزه، لوکوگرانیت‌ها، ۴ مغزه و آنکلاوهای (برونبوم‌های) میکاشیستی و گارنت‌میکاشیستی سورمیکاسه در مجموع ۶ مغزه). مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه پذیرفتاری مغناطیسی (بر حسب μSI) یا پارامتر Km اندازه‌گیری‌شده در گروه‌های سنگی یاد شده در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده، میکاشیست‌ها دارای بیشترین پذیرفتاری مغناطیسی و آپلیت‌های لوکوگرانیتی دارای کمترین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی هستند. بیوتیت هنوز مهمترین و فراوان‌ترین حامل مغناطیسی موجود در سنگ‌های مورد بررسی است. اگرچه پذیرفتاری مغناطیسی ایلمنیت از بیوتیت بیشتر است، ولی از آنجا که فراوانی ایلمنیت بسیار کم است، بیوتیت مهمترین حامل کنترل‌کننده رفتار مغناطیسی یا به عبارت ساده‌تر حامل مغناطیسی موجود در نمونه‌های مورد بررسی است. شکل ۷ نشان می‌دهد که میکاشیست‌ها و گارنت‌میکاشیست‌های میلونیتی‌شده اغلب دارای مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی بسیار بیشتری نسبت به گرانیت‌های میلونیتی‌شده مورد بررسی هستند (به مراجع [۳۸، ۴۱] رجوع شود).

بالاترین مقدار Km در گرانیت‌ها مربوط به نمونه FJ-1F بوده و مقدار آن μSI ۴۸۹/۰۱ است. این نمونه گرانیتی درشت‌دانه و دارای بلورهای درشت بیوتیت است و دلیل اصلی بالا بودن پذیرفتاری مغناطیسی آن با حضور مقادیر قابل‌توجه بیوتیت و به احتمال دانه‌های ریز اکسیدهای آهن به ویژه مگنتیت قابل‌توجیه است. بیوتیت به‌واسطه داشتن آهن در ترکیب شیمیایی خود، دارای مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی قابل‌توجه حدود ۸۰۰ تا μSI ۳۰۰۰ است. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی سنگ‌کل می‌تواند وابسته به فراوانی بیوتیت باشد. مقادیر مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی (Km) بیوتیت و مسکوویت جهت مقایسه در ادامه ارائه شده است.

پذیرفتاری مغناطیسی (MSI)		فرمول شیمیایی	نام کانی
800-3000	→	$K(Mg,Fe^{2+})_3\,[Al\,Si_3O_{10}]\,(OH)_2$	بیوتیت
140 to110	→	$KAl_3Si_30_{10}(OH)_2$	مسکوویت

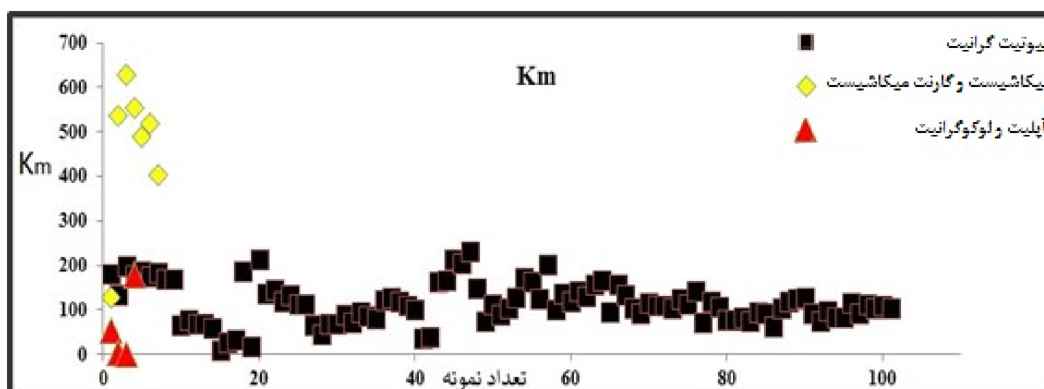
کم‌ترین مقدار Km مربوط به مغزه FJ-5E با μSI ۱۹/۶ است. اغلب مقدار پذیرفتاری مغناطیسی برای گرانیت‌های نوع S حدود μSI ۲۰۰ تا μSI۲۳۰ است، درصورتی‌که طی میلونیت‌زایی در حضور سیال‌ها (که با تغییر کانی‌شناسی تبدیل بیوتیت به مسکوویت یا بیوتیت به اکسیدهای آهن همراه است و همچنین با حضور اپیدوت و آلانیت مشخص می‌شود)، مقادیر Km حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میکرو اس‌آی (μsI) کاهش می‌یابد. در واقع، کاهش مقدار پذیرفتاری‌مغناطیسی، بازتابی از تغییر و تحوّلات کانی‌شناسی گرانیت‌ها در مرحله میلونیت‌زایی و میگماتیت‌زایی در سنگ‌های دگرگونی است. مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی (Km) گرانیت‌های میلونیتی چاه‌زرد نسبت به سنگ‌های میکاشیستی و گارنت‌میکاشیستی همراه یا میزبان آن‌ها، به کمتر از نصف کاهش یافته است، زیرا بخش عمده‌ای از بیوتیت‌های گرانیت‌ها، به مسکوویت تبدیل شده‌اند. پذیرفتاری مغناطیسی میانگین از پارامترهای مهم در بررسی فابریک‌های مغناطیسی است. از این پارامتر در تفسیر ویژگی‌های مختلف از

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

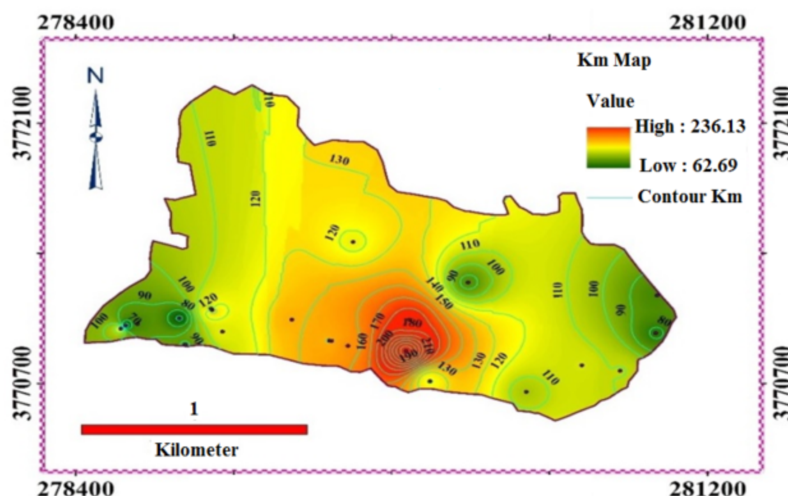
جمله تغییرات فراوانی کانی‌های مغناطیسی و شناخت احتمالی انواع کانی‌ها استفاده می‌شود. مقادیر Km در کرانه غربی و شرقی توده گرانیتی چاه‌زرد اغلب پایین و حدود ۶۰ تا ۱۰۰µSI است. در بخش جنوبی پیرامون ایستگاه اول، مقدار Km بیشترین فراوانی را نشان داده و به ۲۳۶ µSI می‌رسد. با توجه به مشاهدات صحرایی و سنگ‌نگاری، سنگ‌های گرانیتی دگرشکل‌شده پیرامون این ایستگاه دارای کمترین دگرسانی هستند. در سایر بخش‌های توده گرانیتی چاه زرد، مقدار Km بین ۱۲۰ تا ۱۶۰ µSI متغیّر است. با رسم نقشه پهنه‌بندی K_m، فهم تغییرات K_m به مراتب آسان‌تر است (شکل ۸). مناطق دارای K_m بیشتر از نظر سنگ‌شناسی با فراوانی بیشتر بیوتیت و حضور فازهای آهن‌دار و کدر چون ایلمنیت در درجه اول و کانی‌های حاصل از هوازدگی آن‌ها سازگار هستند. افزون بر این، مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های سنگی مورد بررسی بیانگر نبود مگنتیت در آنهاست. از این رو، بین این پارامتر و ترکیب سنگ‌شناسی سنگ‌های مورد بررسی رابطه روشنی وجود دارد.

جدول ۱ مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه پذیرفتاری مغناطیسی (بر حسب µSI) در گروه‌های سنگی مورد بررسی.

ترکیب سنگ‌شناسی	کمینه	میانگین	بیشینه
بیوتیت گرانیت‌ها	۱۱	۱۱۲	۴۸۹
آپلیت‌های لوکوگرانیتی	۲	۶۰	۱۷۸
میکاشیست‌ها و گارنت میکاشیست‌ها	۱۳۰	۴۶۱	۶۲۹



شکل۷ تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی برای همه ترکیب‌های سنگی گرانیت‌های چاه زرد و سایر سنگ‌های همراه آنها.



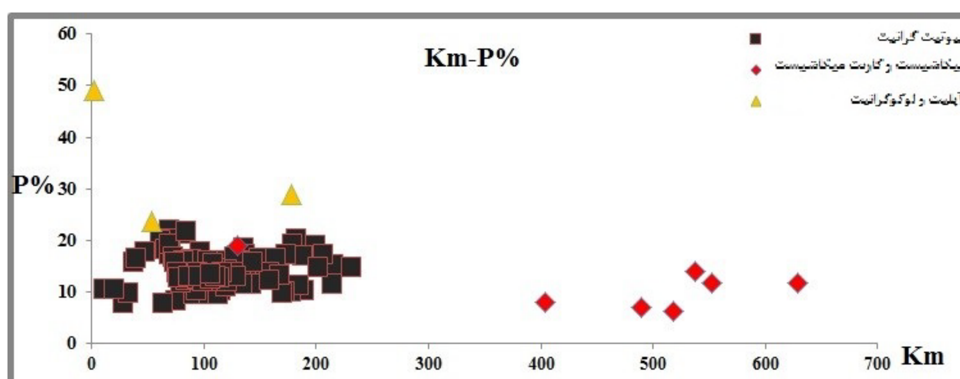
شکل۸ نقشه نشان‌دهنده تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی میانگین (Km) در گرانیت‌های میلونیتی‌شده چاه زرد (به صورت طیف‌رنگی و منحنی میزان).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

درصد ناهمسانگردی مغناطیسی (P %) دومین پارامتری است که در بررسی فابریک‌های مغناطیسی استفاده می‌شود این پارامتر از نسبت مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در راستای بزرگترین محور بیضوی مغناطیسی (K_1) و در راستای کوچکترین محور بیضوی مغناطیسی (K_3)، و از رابطه: K1/K3 به دست می‌آید. درصد ناهمسانگردی مغناطیسی کمینه، میانگین و بیشینه در گروه‌های سنگی مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی رابطه بین درصد ناهمسانگردی مغناطیسی و میزان پذیرفتاری مغناطیسی (شکل ۹) نشان می‌دهد که تعداد کمی از نمونه‌های سنگی دارای پذیرفتاری-مغناطیسی بالا نسبت به سایر نمونه‌های سنگی هستند. این دسته، در واقع میکاشیست‌ها و گارنت‌میکاشیست‌های میلونیتی‌شده هستند. این دسته همچنین دارای ناهمسانگردی مغناطیسی کمتر از ۱۰ درصد هستند. در گرانیت‌های میلونیتی‌شده، مقدار ناهمسانگردی مغناطیسی بین ۵ تا ۳۰ درصد متغیّر است و روند افزایشی تقریباً محسوسی بین پارامترهای P و Km دیده می‌شود؛ اگرچه تعدادی از نمونه‌ها نیز از این امر پیروی نمی‌کنند. به‌نظر می‌رسد که افزون بر پذیرفتاری مغناطیسی، میزان دگرشکلی نیز بر رفتار متقابل P و Km اثر گذار است. برای مثال، تعدادی از نمونه‌های گرانیتی میلونیتی‌شده با پذیرفتاری‌مغناطیسی کمتر (حدود ۷۰ تا ۱۰۰μSI)، از درصد ناهمسانگردی مغناطیسی بیشتری برخوردار هستند. در برخی از نمونه‌های آپلیتی یا لوکوگرانیتی، به طور موردی، مقدار P به ۵۰ درصد نیز می‌رسد. بررسی دقیق مقاطع میکروسکپی این نمونه‌های لوکوگرانیتی‌میلونیتی‌شده نشان داد که شدت دگرشکلی در این نمونه‌ها بسیار است. قطعه‌قطعه‌شدن پورفیروکلاست‌های ارتوز و پرشدن فضای بین قطعه‌های شکسته‌شده توسط رگه‌های باریک کوارتزی از ویژگی‌های بارز این نمونه‌هاست. در شکل ۱۰، تصاویر میکروسکپی نمونه‌های سنگی دارای ناهمسانگردی مغناطیسی بالا نشان داده شده است. درصد ناهمسانگردی مغناطیسی بیوتیت گرانیت‌های جندق بین ۰/۲ تا ۵۰ درصد متغیّر است. با این وجود، مقدار P% نمونه‌های سنگی مورد بررسی اغلب بین ۱۰ تا ۲۰ درصد در نوسان است. نقشه نشان دهنده تغییرات این پارامتر به صورت پهنه‌بندی و منحنی تراز در شکل ۱۱ نشان داده شده است. از این نقشه به راحتی می‌توان دریافت که در بخش‌های جنوب‌شرقی توده گرانیتی چاه زرد درصد ناهمسانگردی مغناطیسی بالاتر است. بررسی میکروسکپی نمونه‌های سنگی این منطقه نیز بیانگر دگرشکلی و دانه‌ریزشدن شدید آنهاست. با توجّه به نمودار توزیع کلی پارامتر درصد ناهمسانگردی برای واحدهای سنگی در هر ایستگاه، درمی‌یابیم که کمترین مقدار P (۰/۲ درصد) در ایستگاه ۲۰ مربوط به‌گرانیت‌های میلونیتی‌شده و بیشترین مقدار P (۵۰ درصد) در ایستگاه ۳ مربوط به آپلیت‌ها یا لوکوگرانیت‌های میلونیتی‌شده است.

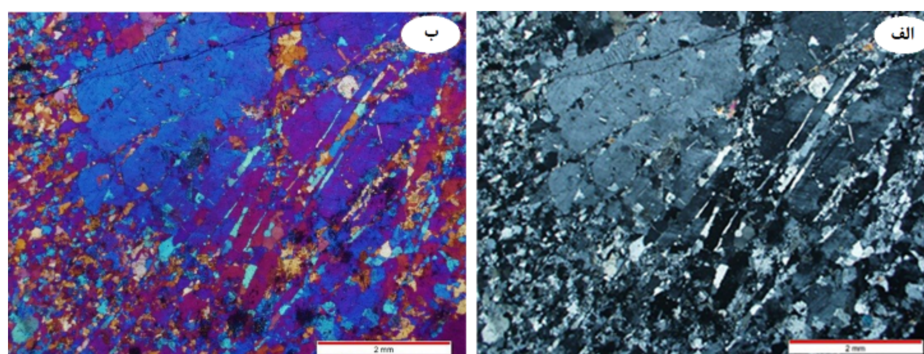
جدول ۲ مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه درصد ناهمسانگردی مغناطیسی در گروه‌های سنگی مورد بررسی.

ترکیب سنگ‌شناسی	کمینه	میانگین	بیشینه
بیوتیت‌گرانیت‌ها	۶/۹	۱۴/۲۵	۲۲/۲
آپلیت‌های لوکوگرانیتی	۲۳/۷	۱۳/۳۳	۴۹/۱
میکاشیست‌ها و گارنت‌میکاشیست‌ها	۶/۳	۱۱/۴۵	۱۹

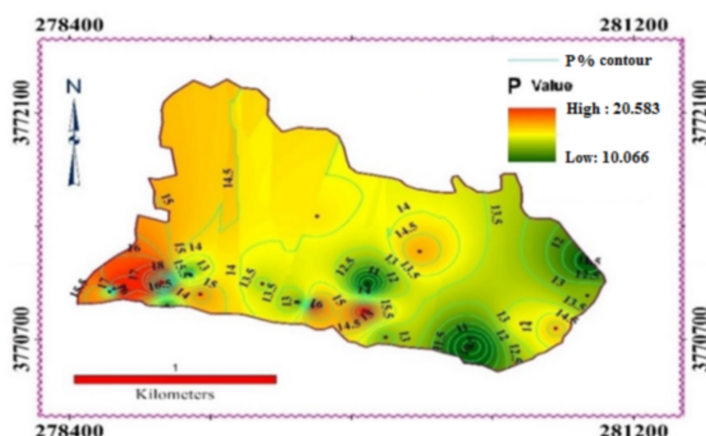


شکل۹ تغییرات پارامتر P برحسب درصد نسبت به Km برای همه نمونه‌های سنگی مورد بررسی.

[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199] [DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]



شکل۱۰ تصاویری از پدیده‌های توصیف‌شده در ارتباط با نمونه‌های سنگی دارای ناهمسانگردی مغناطیسی بالا (XPL). به تشکیل رگه‌های کوارتزی در راستای شکستگی‌ها و دانه‌ریزشدن پورفیروکلاست ارتوز و دانه‌های کواتز و همچنین خاموشی موجی در پایین سمت راست تصویر (الـف) توجـه نمایید. تصویر (ب) همین بخش را به کمک تیغه کمکی ژیپس نشان می‌دهد. در این‌گونه تصاویر پدیده دانه‌ریز شدن (ساب‌گرین‌شـدن) و تـشکیل پورفیروکلاست‌ها بسیار آسان‌تر قابل‌درک و مشاهده است.



شکل ۱۱ نقشه تغییرات درصد انیزوتروپی ناهمسانگردی مغناطیسی (به‌صورت طیف رنگی و منحنی تراز).

پارامتر شکل (T) که بر اساس رابطه $T = 2\times(LnK_2-LnK_3)/(LnK_1-LnK_3)-1$ تعریف می‌شود، بیانگر شکل بیضوی مغناطیسی است. مقدار این پارامتر همیشه بین ۱+ تا ۱- متغیّر است. مقدار T کمتر از صفر نشانگر بیضوی مغناطیسی سیگاری، دوکی شکل یا خطی (Prolate) شکل و مقدار T مثبت یا بیشتر از صفر بیانگر شکل بیضوی مغناطیسی کلوچه‌ای یا صفحه‌ای (Oblate) است. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین پارامتر شکل (T) برای نمونه‌های سنگی مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. نمودار تغییرات پارامتر شکل نسبت به تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی (Km) برای همه نمونه‌های سنگی نیز در شکل ۱۲ آورده شده‌است. دیده می‌شود که در نمونه‌های میکاشیستی، رابطه صعودی ملموسی بین T و Km وجود دارد. با افزایش مقادیر Km، مقدار T نیز افزایش می‌یابد، ولی در نمونه‌های گرانیتی، رابطه چندان نمایانی بین T و Km دیده نمی‌شود. به احتمال زیاد، بر اثر دگرشکلی و همچنین دگرسانی تحمیل‌شده بر سنگ‌های گرانیتی، رابطه بین تغییرات T و Km تا حدی تغییر کرده است. مقادیر پارامتر شکل گرانیت های چاه زرد بین ۰/۰۲ تا ۰،۹۰ متغیّر است.

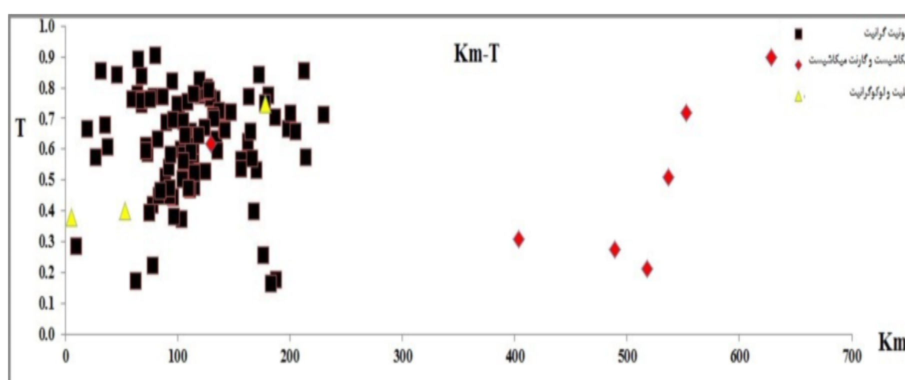
نقشه تغییرات پارامتر T به صورت طیف رنگی و منحنی تراز در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نمونه‌های سنگی بخش‌غربی توده گرانیتی چاه‌زرد دارای مقادیر T مثبت بالایی هستند؛ این امر نشان می‌دهد که شدت دگرشکلی بر این بخش از توده گرانیتی چاه زرد بیشتر است. همچنین، سمت شرق و جنوب‌شرق توده گرانیتی چاه‌زرد دارای درصد ناهمسانگردی مغناطیسی کمتر و نیز شدت دگرشکلی کمتر است. شواهد صحرایی و میکروسکپی این موضوع را تأیید می‌کند. از دیگر راه‌های تجزیه و تحلیل پارامترهای مغناطیسی، استفاده از استریوگرام‌هایی است که جایگاه مکانی یا بُرداری محورهای K_1، K_2 و K_3 بر آن‌ها نشان داده شده است. بررسی و تفسیر خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی بر اساس این استریوگرام‌ها انجام می‌شود.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

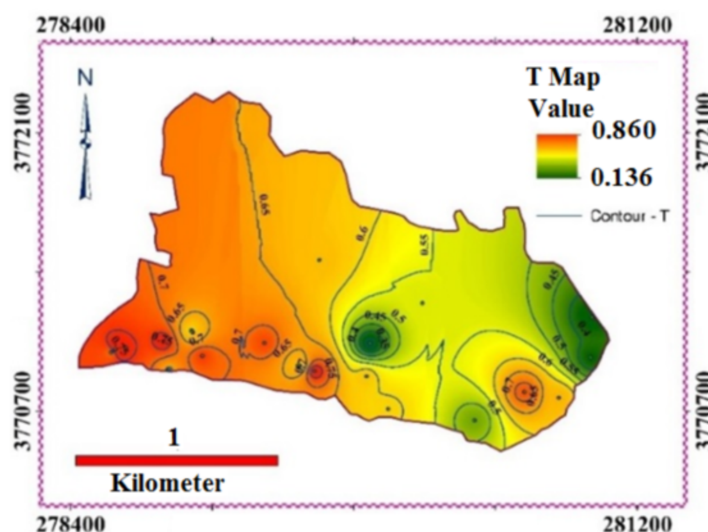
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

جدول ۳ مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه مقادیر پارامتر شکل در گروه‌های سنگی مورد بررسی

ترکیب سنگ‌شناسی	حداقل	میانگین	حداکثر
بیوتیت گرانیت‌ها	۰٫۱۷	۰٫۹	۰٫۶۳
آپلیت‌های لوکوگرانیتی	۰٫۳۸	۰٫۷۵	۰٫۳۸
میکاشیست‌ها و گارنت میکاشیست‌ها	۰٫۲۲	۰٫۹۰	۰٫۵۳



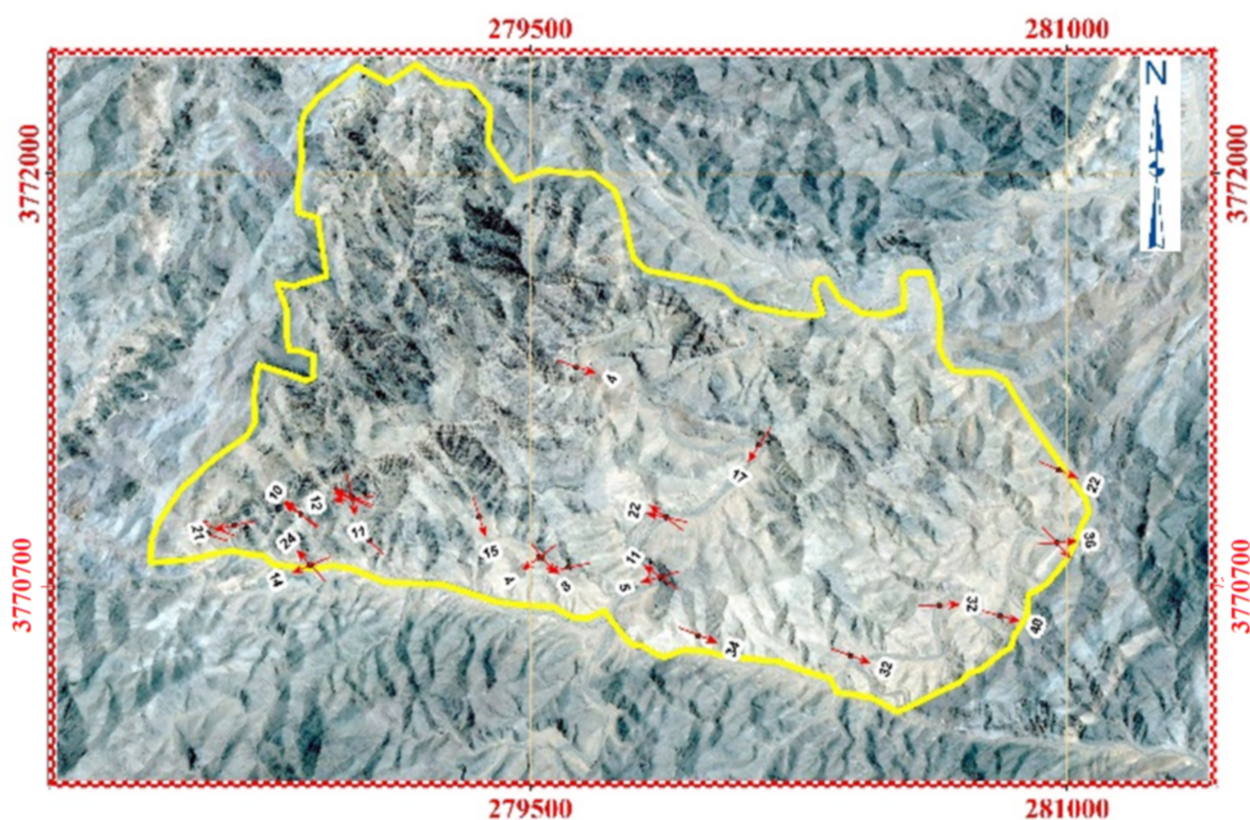
شکل۱۲ تغییرات T نسبت به Km برای نمونه‌های سنگی مورد بررسی.



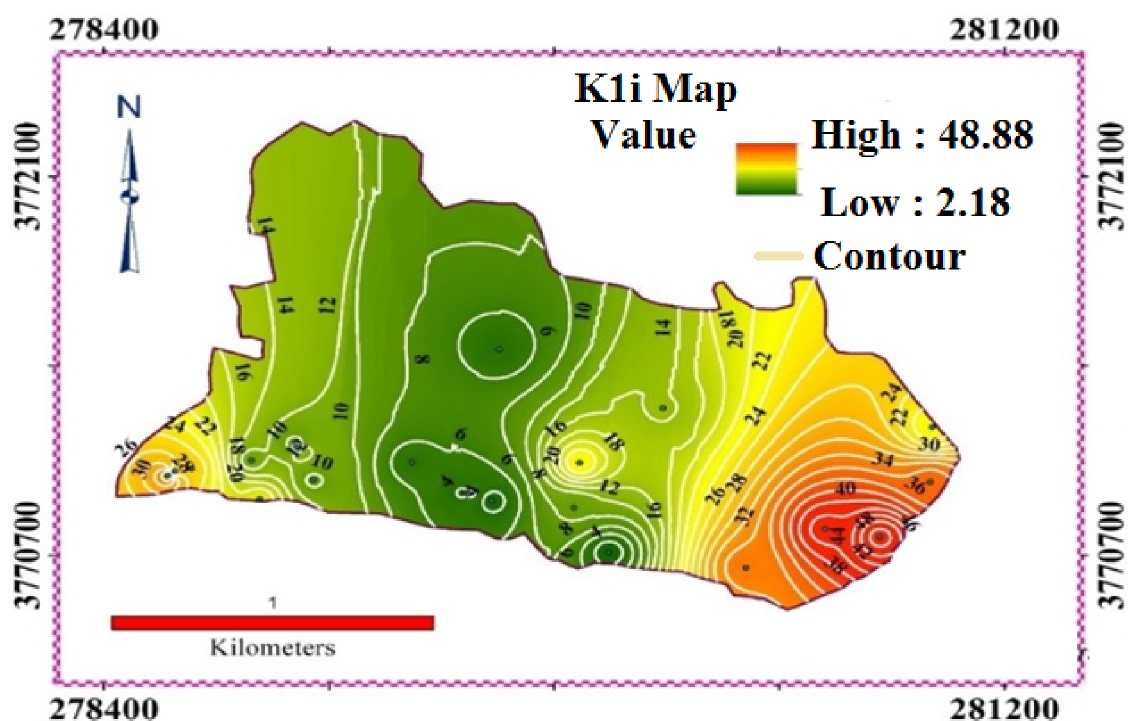
شکل ۱۳ نقشه تغییرات مقدار پارامتر شکل (T) (به‌صورت طیف رنگی و منحنی تراز).

خطواره‌های مغناطیسی

نقشه خطواره‌های مغناطیسی بر اساس ویژگی‌های بُرداری بزرگترین محور بیضوی‌مغناطیسی یا K_1 رسم می‌شود. در نقشه خطواره‌های مغناطیسی، K_1 با نماد پیکان (↑) نمایش داده می‌شود. نقشه تغییرات مقدار میل خطواره‌های مغناطیسی با توجّه به مقادیر سمت (آزیموت) میل و مقدار میل این خطواره-ها، رسم شده‌است. همچنین، خطواره‌های مغناطیسی به‌صورت پیکان بر روی این نقشه نشان داده شده‌اند و مقادیر میل آنها نیز در کنار آنها آورده شده است (شکل ۱۴). با رسم نقشه پهنه‌بندی و منحنی تراز میل خطواره‌های مغناطیسی، می‌توان تغییرات میل آنها را آسان‌تر تجسم کرد (شکل ۱۵). بر اساس نقشه خطواره‌های مغناطیسی و همچنین نمودار گل‌سرخی یا خطواره‌های مغناطیسی، جهت میل بیشتر خطواره‌ها به‌سمت شمال‌غرب است (شکل‌های ۱۵ و ۱۶) و افزون بر این، دارای مقدار میل کمی هستند. تعداد کمی از آنها نیز به سمت جنوب و جنوب‌شرق آرایش یافته‌اند (حدود ۱۰ درصد). این امر با بررسی‌های صحرایی و اندازه‌گیری میل و جهت میل خطواره‌ها در مقیاس صحرایی در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری نیز تأیید می‌شود.

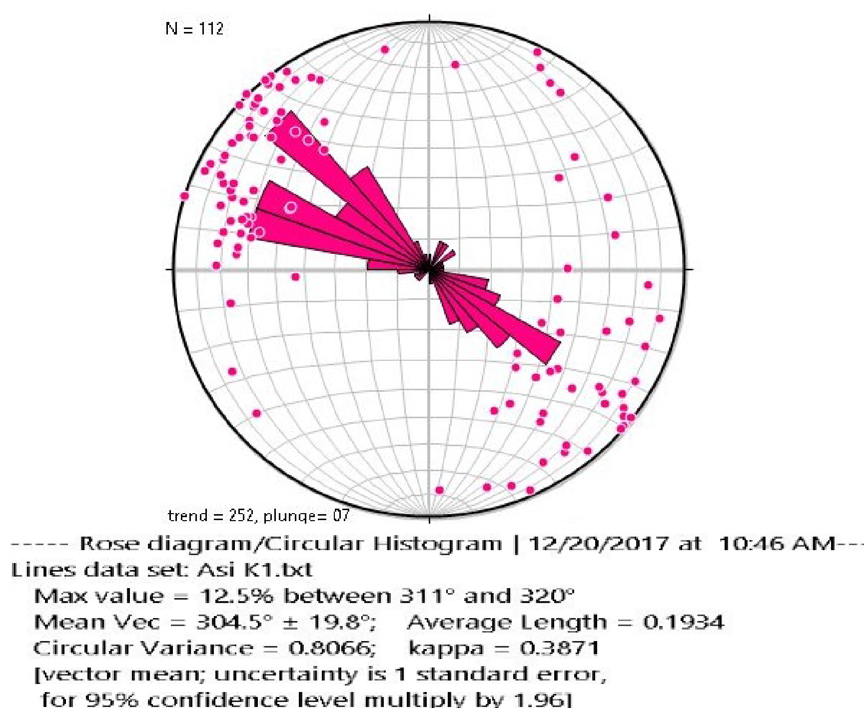


شکل ۱۴ نقشهٔ خطواره‌های مغناطیسی گرانیت‌های میلونیتی‌شده چاه زرد.



شکل۱۵ نقشه تغییرات مقدار میل خطواره‌های مغناطیسی (به‌صورت طیف رنگی و منحنی تراز). طیف تغییرات رنگی از سبز به سمت قرمز، نشانگر مقدار کم تا زیاد میل خطواره‌های مغناطیسی است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]



شکل ۱۶ نمودار گل سرخی خطواره‌های مغناطیسی که نشان دهنده وجود روند غالب شمال‌غرب - جنوب‌شرق، خطواره‌های مغناطیسی گرانیت‌های میلونیتی‌شده چاه زرد است.

برگواره‌های مغناطیسی

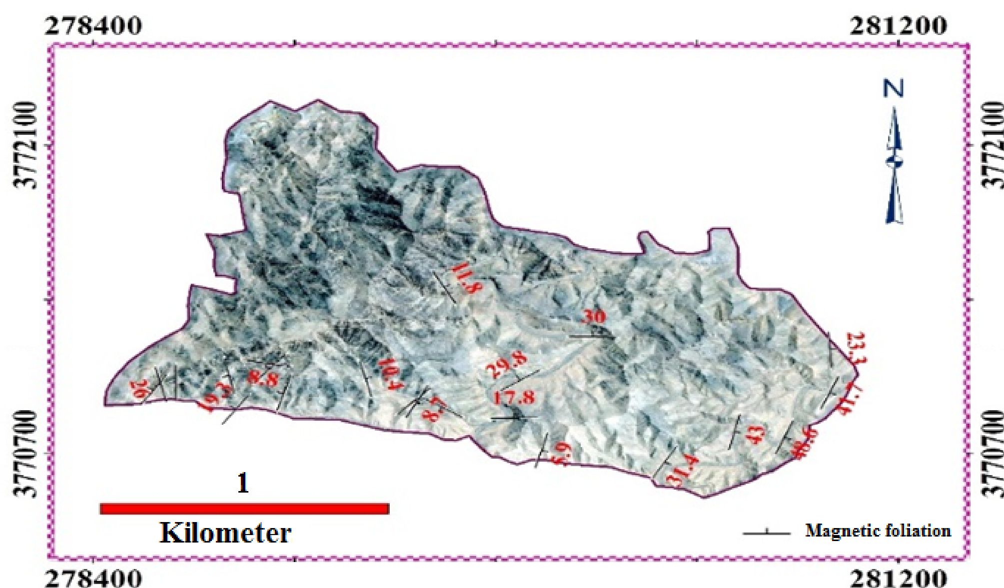
به طور معمول ویژگی‌های بُرداری K_3 به‌عنوان قطب برگوارگی مغناطیسی در نظر گرفته می‌شود [۴۲]. نقشه برگواره‌های مغناطیسی که بر اساس مشخصه‌های K_3 و تبدیل آن به صفحه برگوارگی تهیه و رسم شده، در شکل ۱۷ نشان داده شده‌است. مقدار شیب برگواره‌های مغناطیسی در هر ایستگاه به صورت یک عدد در کنار نماد برگوارگی(┣) درج شده است. این شکل نشان می‌دهد که در لبه جنوب‌شرقی توده گرانیتی چاه‌زرد، برگواره‌های مغناطیسی شیب بیشتری دارند (۳۰ تا ۴۰ درجه) و بیشینه شیب آن‌ها به ۴۸ درجه می‌رسد. به سمت غرب و شمال‌غرب، مقدار شیب برگواره‌های مغناطیسی کاهش می‌یابد و مقدار آن بین ۱۰ تا ۲۰ درجه متغیّر است. استریوگرام نشانگر قطب برگواره‌های مغناطیسی و صفحه‌های برگواره‌های مغناطیسی در شکل ۱۸ الف نشان داده شده‌است. این شکل به روشنی نشان می‌دهد که برگواره‌های مغناطیسی دارای شیب بسیار کم و نزدیک به افقی هستند. شکل ۱۸- ب استریوگرام نشانگر قطب برگواره‌های قابل مشاهده در مقیاس صحرایی است که بر پایه اندازه‌گیری عناصر ساختاری روی زمین استوار است و همچنین نشان می‌دهد که این برگواره‌ها نیز همانند برگواره‌های مغناطیسی دارای شیب کم تا بسیار کم هستند.

استریوگرام نشان دهنده جایگاه محورهای مغناطیسی همه نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۱۹ نشان داده شده است. این نمودار نخست نشان می‌دهد که جایگاه محورهای K_1، K_2 و K_3 از تمرکز خوبی برخوردار هستند. جایگاه محور K_3 بیشتر پیرامون مرکز استریوگرام واقع بوده و بیانگر شیب بسیار قطب - برگواره‌های مغناطیسی است. به عبارت دیگر، برگواره‌های مغناطیسی دارای شیب کم یا به نسبت کم هستند. از سوی دیگر، جایگاه محورهای K_1 که با مربع آبی نمایش داده شده است، نشان می‌دهد که بیشتر خطواره‌های مغناطیسی مورد بررسی در ربع شمال‌غرب استریوگرام واقع بوده و دارای شیب کم تا به نسبت کم هستند. همچنین، جایگاه محورهای K_2 پیرامون لبه استریوگرام واقع بوده و بیانگر شیب کم بردار حدواسط بیضوی مغناطیسی یا K_2 هستند. در مجموع، این نمودار نشان می دهد که نمونه‌های سنگی مورد بررسی رفتار به نسبت همگنی دارند. برگواره‌های مغناطیسی دارای شیب کمی هستند و خطواره‌های مغناطیسی نیز بیشتر به سمت شمال-غرب یا جنوب‌شرق آرایش یافته‌اند.

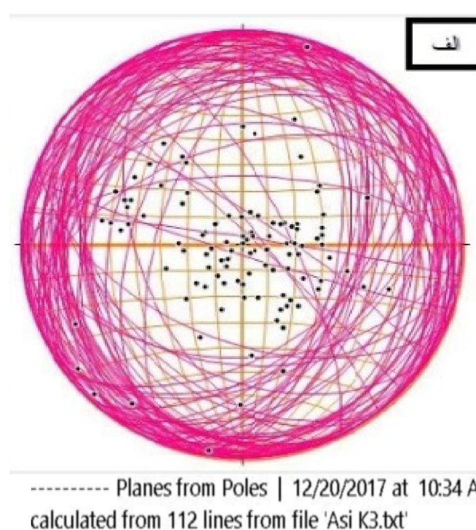
در پایان، توجه به چند نکته ضروری است که عبارتند از: ۱- جایگاه سنی فرایند میلونیتی‌شدن هنوز دقیق مشخص نیست و نیازمند بررسی‌های بیشتر است. ۲- نتایج به‌دست آمده

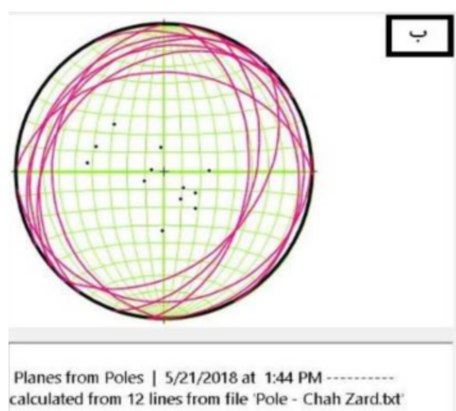
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199] [DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]

از مقایسه عناصر ساختاری اندازه‌گیری‌شده در صحرا، خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی برپایه تفسیر پارامترهای مغناطیسی در تأیید هم هستند و می‌توانند برای افزایش دقت بررسی ریزساخت‌های سنگ‌های دگرشکل‌شده از جمله میلونیت‌ها مفید و مؤثر باشند. ۳- بر اساس تفسیرهای انجام‌شده تا کنون [۳۴-۳۶]، به نظر می‌رسد که این تغییرات در راستای ایجاد پهنه‌های‌بُرشی و در راستای عملکرد گسل‌هایی از نوع راندگی یا معکوس با شیب زیاد صورت گرفته‌اند [۳۴]. ۴- بیشتر حرکت‌های‌راندگی بزرگ‌مقیاس نیز به‌سمت جنوب انجام شده است. ۵- در واقع، خطواره‌های مغناطیسی و برگواره‌های مغناطیسی می‌توانند برای تعیین سوی برش یا جهت تعیین سمت راندگی‌های بزرگ مقیاس مفید باشند (البته به شرط درنظر گرفتن احتیاط‌های لازم، داشتن ایستگاه‌های اطلاعاتی کافی و دانش کافی و آگاهانه).



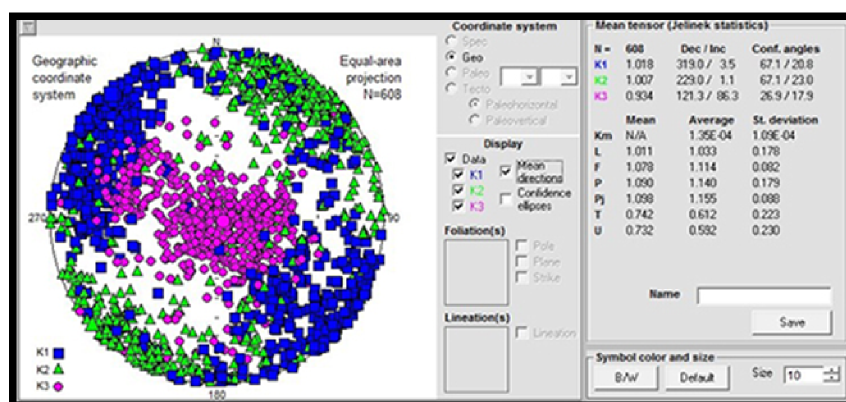
شکل ۱۷ نقشه برگواره‌های مغناطیسی توده گرانیتی چاه زرد.





شکل ۱۸ الف- استریوگرام نشان‌دهنده قطب برگواره‌های مغناطیسی و صفحه‌های برگواره‌های مغناطیسی که بیانگر شیب بسیار کم برگـواره هـای مغناطیسی چاه زرد می‌باشد. ب - استریوگرام نشان‌دهنده صفحه‌های برگواره‌های گرانیت‌های میلونیتی‌شده که روی زمین به‌طور مـستقیم انـدازه-گیری شده است. به شیب کم برگواره ها توجه شود. قطب برگواره‌های مغناطیسی نیز نمایش داده شده‌است

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]



شکل ۱۹ استریوگرام رسم‌شده برپایه پارامتر های مغناطیسی اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار Anisoft 4.2 برای گرانیت‌های میلونیتی‌شده، آپلیت‌های میلونیتی‌شده و آنکلاوهای میکاشیستی (سورمیکاسه) همراه آن‌ها در منطقه چاه زرد.

برداشت

این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار پذیرفتاری مغناطیسی میانگین توده گرانیتی چاه زرد از مقدار میانگین پذیرفتاری معمول برای بیوتیت گرانیت‌ها به مقدار قابل ملاحظه ۱۰۰ تا ۱۵۰ µSI کمتر است. بررسی‌های میکروسکپی نشان داد که عامل کاهش پذیرفتاری مغناطیسی تبدیل بیوتیت به مسکوویت در اثر واکنش با سیال‌های گرم سرشار از آب طی میلونیت‌زایی است. با توجه به شواهد صحرایی و سنگ‌نگاری، توده گرانیتی چاه زرد اغلب دستخوش میلونیت‌زایی درجه پایین تا متوسط شده است. دانه‌ریز شدن (ساب گرین‌شدن)، شکن شدگی(کینک‌باند)، چین‌خوردگی ریزمقیاس و له‌شدگی بیوتیت‌ها از شواهد بارز میلونیتی‌شدن هستند. بر اساس تفسیر تمرکز و فراوانی خطواره‌ها و برگواره‌های مغناطیسی، می‌توان گفت که بیشتر خطواره‌های مغناطیسی دارای میل بسیار کمی هستند و به سمت شمال‌غرب آرایش یافته‌اند. برگواره‌های مغناطیسی نیز دارای شیب بسیار کم و نزدیک به افقی هستند. شواهد صحرایی و یافته‌های برپایه تفسیر پارامترهای مغناطیسی، هم را تأیید می‌کنند. این امر نشان می‌دهد که پارامترهای مغناطیسی می‌توانند در شناخت و تفسیر پارامترهای ساختاری چون برگوارگی، خطوارگی و چین-خوردگی مفید باشند. با توجه به شواهد صحرایی و میکروسکوپی، دگر شکلی سنگ‌های سازنده توده گرانیتی چاه-زرد، چنان شدید است که ساخت‌های ماگمایی اولیه تقریباً مخدوش‌شده‌اند و نمی‌توان از آنها در تعیین محل تزریق یا چگونگی تزریق ماگمای سازنده این توده گرانیتی استفاده کرد. این پژوهش نشان می‌دهد که دگرشکلی به ویژه از نوع شدید آن، می‌تواند فابریک‌های ماگمایی را مخدوش کرده و باعث شود تا در این نوع توده‌های نفوذی نتوان از روش AMS برای تعیین چگونگی توزیع ماگما استفاده کرد. افزون بر این، از آنجا که ریزساخت‌های ماگمایی توده گرانیتی چاه زرد به شدت به هم ریخته و ریزساخت‌های زمین‌ساختی بر آنها غلبه کرده‌اند، نتایج به دست آمده از بررسی بافت‌های مغناطیسی نمی‌توانند برای شناخت محل تزریق ماگما و یا چگونگی توزیع و جایگیری آن کاربرد داشته باشند.

قدردانی

بر خود واجب می‌دانیم از آقای مهندس حسین یغمایی مسؤول پیشین اداره راه جندق و سایر پرسنل این اداره، صمیانه تشکر و قدردانی کنیم؛ نامبردگان ما را در زمینه اسکان، پذیرایی و فراهم کردن نیازهای مرتبط با کارهای صحرایی یاری رساندند. از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود که بخشی از هزینه‌های این پژوهش را متقبل شده‌اند نیز سپاسگزاری می‌کنیم.

مراجع

[1] Hrouda F., "*Magnetic anisotropy of rocks and it's application in geology and geophysics*". *Geophys*, Surveys, (1982) 5, 37-82.

[2] Tarling D.H., Hrouda F., "*The magnetic Anisotropy of rocks*", (1993) Chapman & Hall, London.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

obtained from magnetic fabrics in the Parry Sound shear zone, Ontario Grenville Province", *Journal of Structural Geology* (1995) 17(2):265-278. DOI: 10.1016/0191-8141(94) E0045-Z.

[13] Viegas L. G. F., Archanjo C. J., Helena M., Hollanda B. M., Alain Vauchez A., "*Microfabrics and zircon U-Pb (SHRIMP) chronology of mylonites from the Patos shear zone (Borborema Province, NE Brazil)*", *Precambrian Research*, Elsevier, 2014, 243, pp.1-17. (10.1016/j.precamres. 2013.12.020). (hal-01053497).

[14] Ghalamghash J., "*Petrology and emplacement of intrusive rocks of Urumieh-Oshnavieh area,* Ph.D. thesis, Earth science faculty, Shahid Behshti University (Tehran-Iran)", (2002) 210 pp.

[15] Sadeghian M., "*Magmatism, metallogeny and emplacement mechanism of the Zahedan granitoidic pluton*", *Ph.D. thesis*, Tehran University (2004), 520 pages.

[16] Rasouli J., *Investigation of magnetic susceptibility of Boroujerd granitoidic pluton*, *M.Sc. thesis*, Tehran Unviersity, Department of sciences, Faculty of earth sciences, 2008, 128 p.

[17] Sheibi M., "*Petrology, geochemistry and emplacement mechanism of the Shir Kuh granitoidic pluton (SW of Yazd)*", *Ph.D.* thesis, Science department, Tehran Unviersity (2009), 180 p.

[18] Ahad Nezhad V., "*Investigation of petrology, geodynamic and emplacement mechanism of the Malayer granitoidic complex (west of Iran) by using AMS Method*", *Ph.D. thesis*, Tehran Unviersity (2010), 293 p.

[19] Gavanji N., *Magnetic susceptibility of south of Zafarghand granitoidic pluton (Ardestan)*, *M.Sc. thesis*, Faculty of earth sciences, Shahrood University of Technology, (2011) 221 pages.

[20] Shekari S., "*Investigation of the emplacement mechanism of Darreh Bagh granitoidic pluton (NW Aligoudarz) by using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method*", *M.Sc. thesis*, Faculty of earth sciences, Shahrood University of Technology, (2012) 209 pages.

[21] Badlou S., "*Investigation of the emplacement mechanism of the Gol-e-Zard granitoidic pluton (North of Aligoudarz) by AMS method*", M.Sc. thesis, Faculty of earth sciences, Shahrood University of Technology, (2012) 191 pages.

[22] Chekani Moghaddam M., "*The study of melt distribution in mafic dikes, cutting Delbar*

[3] Neves S. P., Araujo M. B., Correia P. B., Mariano G, "*Magnetic fabrics in the Cabanas Granite (NE Brazil): interplay between emplacement and regional fabrics in a dextral transpressive regime*", *Journal of Structural Geology*, ., (2003) 25, 441- 453.

[4] Aydin A., Ferre E. C., Aslan, Z., "*The magnetic susceptibility of granitic rocks as a proxy for geochemical composition: Example from the Saruhan granitoids. NE Turkey*", Tectonophysics, (2007) 441, 85- 95.

[5] Trubac j., Zak j., Chlupacova M., Janousek V., "*Magnetic fabric of the Ricany granite, Bohemain massif: A record of helical magma flow?*" *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (2009)181, 25- 34

[6] Majumder S., Mamtani M. A., "*Magnetic fabric in the Malanjkhand Granite (Central India) Implications for regional tectonics and Proterozoic suturing of the Indian shield*", *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, (2009) 172, 310- 323.

[7] Skytta P., Hermansson T., Elming S. A., Bauer T., "*Magnetic fabrics as constraints on the kinematic history of a pre–tectonic granitoid intrusion*", Kristineberg, northern Sweden, *Journal of Structural Geology*, (2010) 32, 1125- 1136.

[8] Borradaile G. J., Jakson, M., "*Structural geology, petrofabrics and magnetic fabrics (AMS, AARM, AIRM)*", *Journal of Structural Geology*, (2010) 32, 1519- 1551.

[9] Zak J., Verner K., Finger F., Faryad Sh., Chlupacova, M., Veselovsky F., "*The generation of voluminous S–Type granites in the Moldanuabian unit, Bohemian massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic Middle crust*", Lithos, (2011) 121, 25- 4.

[10] Borradaile G. J., Geneviciene I., Charpentier L., "*Magnetic fabrics in Archean granitoids, Northwestern Ontario: isolation of accessory and matrix contributions by inspection of AMS data*", Tectonophysics, (2012) 514- 517, 115- 122.

[11] Bascou J., Henry B., Ménot R. P., Funaki M., Guilhem Barruol G., "*Contribution of AMS measurements in understanding the migmatitic terrains of Pointe Géologie, Terre Adélie (East-Antarctica)*". Tectonophysics, Elsevier, (2013) 603, pp.123-135. 10.1016/j.tecto.2013.05.021. (hal-01304296).

[12] Housen B., Pluijm V. D. B., Essene E. J., "*Plastic behavior of magnetite and high strains*

crystallography and 9th national symposium of Payam Noor university, Zanjan, Iran (2017), 546-552.

[31] Mohammadi M., "*Investigation of the variations of magnetic parameters during migmatization and granitization of the high grade metapelitic rocks of Shotor Kuh igneous - metamorphic complex, in interval of Gorgabi-Jamil (SE Shahrood)* (2017), M.Sc., thesis, Faulty of earth sciences, Shahrood University of Technology.

[32] Mohammadi M., Sadeghian M., Sheibi M., Shekari S. "*Application of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method in the interpertation of evolutions of the high grade metapelitic rocks of Shotor Kuh metamorphic complex (With late Neoperoterozoic age)* (2018), Journal of Kharazmi Earth Sciences (2018), 4th volume, No 1, ,33-52.

[33] Mohammadi M., Sadeghian M., Sheibi M., Shekari S. "*Recognation and anlaysing of magnetic parameters in folded amphibolites of NW ot the Shotor Kuh igneous and metamorphic complex (SE Shahrood)*, 24th symposium of crystallography and mineralogy of Iran, Shahrood, Iran (2018), 342-349.

[34] Balouchi S., "*Petrolgy, geochemistry and isotope geochemistry of the Jandagh metamorphic-igneous complex* (2018a), Ph.D. thesis, 391 P.

[35] Balouchi S., Sadeghian M., Ghasemi H., Zhai M., Quili L., Yanbin Z., "*Mineral chemistry, geochronology and Sr-Nd isotope geochemistry of Ayrakan granites,* Journal of Kharazmi Earth Sciences (2018b), 3th volume, No 2, 139-160.

[36] Balouchi S., Sadeghian M., Ghasemi H., Mingguo Z., Li C., Yanbin Z., *Mineral chemistry, geochemistry and isotope geochronology of Kalateh region (NW of Khur), implication for the Late Triassic magmatism of central Iran zone*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy. 26 (4) (2018c) 827-844.

[37] Fazilat, A., Sadeghian, M. "*Magnetic susceptibility vatiations during mylonitization of Chah Zard gneisses (NE Jandagh)*, 25th symposium of crystallography and mineralogy of Iran, Yazd, Iran (2018b), 693-700.

[38] Fazilat, A., "*Measuring, evaluation and interpretation of magnetic parameters in mylonitized granites of igneous and metamorphic complex of Jandagh (Northeast of Chah zard village) in the light of anisotropy of magnetic metamorphic-igneous complex (east of Biarjomand) by using AMS method and determination of their paleomagntic position*", *M.Sc. thesis*, Faculty of earth sciences, Shahrood University of Technology, (2013) 226 pages.

[23] Saki S., "*Investigation of emplacement mechanism of the Bouin – Miandasht granitoidic pluton using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method*", *M.Sc. thesis*, Faculty of earth sciences, Shahrood University of Technology, (2014) 215 pages.

[24] Aslani A., Alimohammadian, H., Ghalamghash J., Nazari H. "*Microstructural investigation of southern Alvand batholith using anisotropy of magnetic susceptibility*", *Scientific Quarterly Journal, Geosciences,* (2015) 24 (94) 137-146.

[25] Sadeghian M., Bouchez J.L., Nedelec A., Siqueira R., Valizadeh, M. V., "*The granite pluton of Zahedan (SE Iran): a Petrological and magnetic fabric study of a syntectonic sill emplaced in a transtensional setting*", Journal of Asian Earth Sciences, (2005) 25, 301- 327.

[26] Esmaeily D., Bouchez J.L., Siqueira R., "*Magnetic fabrics and microstructures of Jurassic Shah- Kuh granite pluton (Lut Block, Eastern Iran) and geodynamic inference*", Tectonophysics, (2007) 439, 149- 170.

[27] Ghalamghash J., Bouchez J.L., Vosoughi – Abedini M., Nedelec A., "*The Urumieh plutonic complex (NW Iran): Record of the geodynamic evolution of the Sanandaj – Sirjan zone during Cretaceous times – part II: magnetic fabrics and plate tectonic reconstruction*", Journal of Asian Earth Sciences, (2009) 36, 303- 317.

[28] Rasouli J., Ahad Nejad V. & Esmaeily D., "*A preliminary Study of the anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) of Boroujerd granitoids, Sanandaj- Sirjan zone, west Iran*", *Natural Science*, (2012), 4, 91-105.

[29] Sheibi M., Bouchez J.L., Esmaeily D., Siqueira R., "*The Shir- Kuh pluton (central Iran): Magnetic fabric evidences for the coalescence of magma batches during emplacement*", Journal of Asian Earth Sciences, (2012) 46, 39-51.

[30] Mohammadi M., Sadeghian M., Sheibi M., Shekari S. "*Recognation and anlaysing of structural parameters in shear zones by using magnetic parameters (in the light of AMS method)*, 19th symposium of geological society of Iran and

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]

[41] Fazilat, A., Sadeghian, M. "*Evalution of magnetic parameter variations in Chah Zard gneisses (NE Jandagh, NE of Isfahan province)*, 24th symposium of crystallography and mineralogy of Iran, Shahroud, Iran (2018a), 965-973.

[42] Bouchez J.L., "*Granite is never isotropic: An introduction to AMS studies in granitic rocks*", In Bouchez J.L., Hutton D.H.W. and Stephens W.E. (Eds), Granite: from segregation of melt to emplacement fabrics", Kluver, Dordrecht, pp. (1997) 95-112.

susceptibility (AMS) method". M.Sc. thesis, Shahrood University of Technology, Faculty of earth Sciences, (2018c), 136 P.

[39] Vernon R.H., "*A practical guide to rock microstructure*". Cambrige University press, (2004) 594 Pages.

[40] Trouw R. A. J., Paschier C. W., Wiersma, D. J., "*Atlas of Mylonites and microstructures*", (2010) Springer Verlag, Berlin Hidelberg in Germany.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-03-16]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.14.4]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.199]